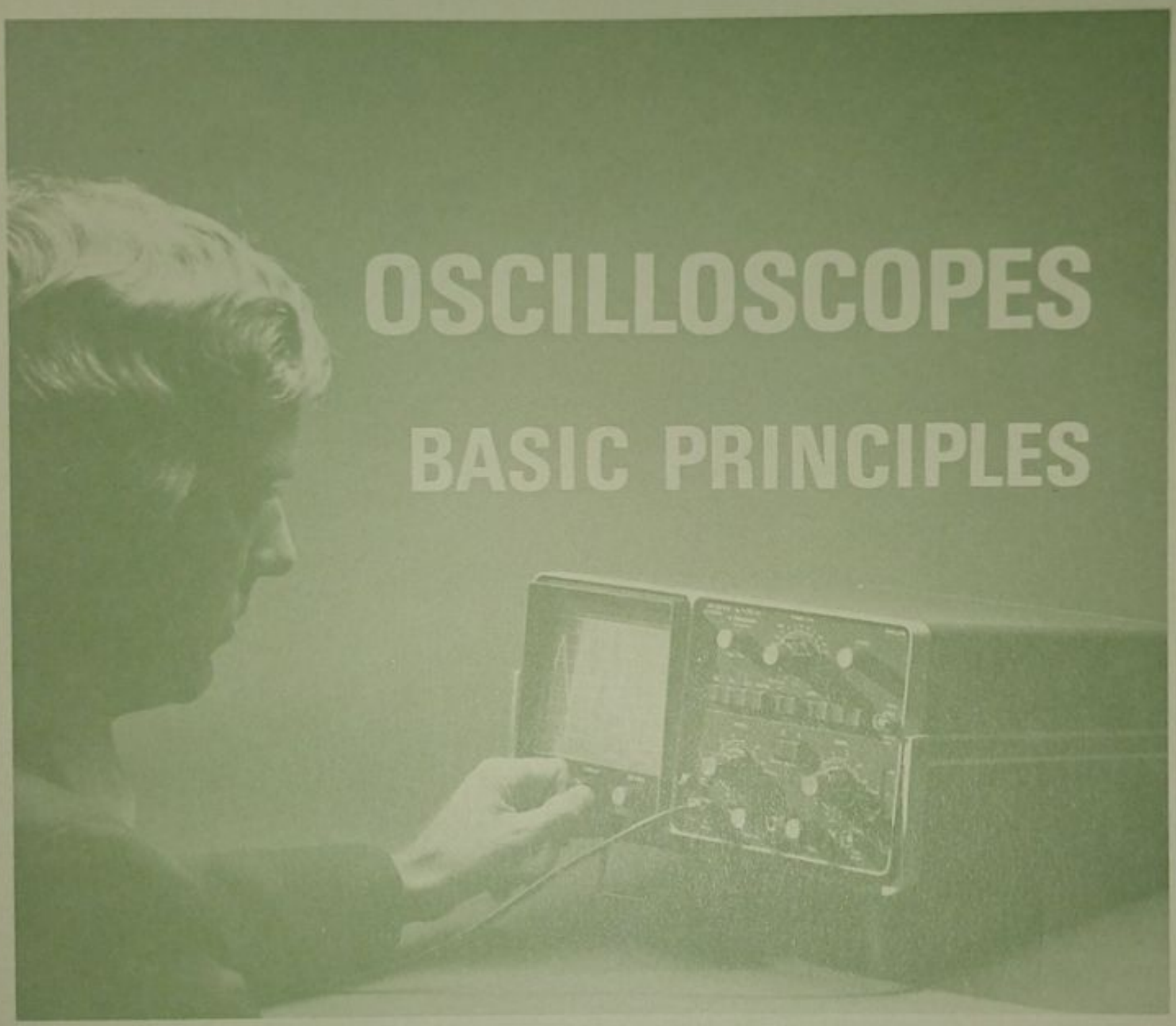
test and measuring instruments

OSCILLOSCOPES

BASIC PRINCIPLES



PHILIPS

Oscilloscopes
Oscilloscopes
Oszillografen

Series 1 – Basic principles Page 3

This slide-illustrated course deals with the basic features of the oscilloscope.
For clarity and to avoid too many questions at an early stage of the instruction, a simplification of the subject will sometimes be used.

1ère partie – Principes de base Page 9

Cette brochure accompagnée de disapositives donne les caractéristique fondamentales d'un oscilloscope.
Par souci de clarté et pour éviter des questions trop nombreuses à un stade trop élémentaire de l'instruction, le sujet sera parfois simplifié.

Serie 1 – Grundbegriffe Seite 15

Diese Diaserie gibt einen Uberblick über die Grundlagen der Elektronenstrahl-Oszillografen.
Um die Wirkungsweise der Oszillografen möglichst klar und einfach darzustellen, wird der Aufbau dieser Messgeräte in verschiedenen Stufen dargestellt.

Published by:
N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken
S & I Division
Test and Measuring Instruments Department
Eindhoven - The Netherlands

Other Philips publications on oscilloscopes*
Autres éditions Philips au sujet des oscilloscopes*
Weitere Philips Veröffentlichungen zum Thema Oszillographen*

- **Application manual - multiplying oscilloscopes**
To add an accurate and convenient multiplying function to an oscilloscope was a Philips invention. This publication represents the only authorative work on the subject. It covers the technique, the terminology, how to avoid problems, and many examples of practical applications.

- **Zeroing in on ones and zeros**
Oscilloscope measurements in digital and computer applications.

If you are interested in more details on:
. How an oscilloscope can help you in digital applications
. How to avoid various measuring pitfalls and
. How to specify the proper oscilloscope for your application
this book may provide most of the answers. 62 pages.

- **Experiments and Measurements with oscilloscopes**
In 52 pages this booklet complements the other educational publications by taking the reader through some 42 worked examples of typical measurement problems.

* in English.
seulement en anglais.
nur in englischer Sprache.

Oscilloscopes-basic principles

1. **The principle of the oscilloscope**
   General speaking, an oscilloscope is an instrument which gives an electronic **visual** representation of two related electrical quantities.
   The slide shows two signals, one applied to the X-input terminal of an oscilloscope and the other to the Y-input terminal.
   The oscilloscope "plots" these two quantities, as it were, along the X- and Y-axes respectively.

2. **Various types of oscillographs and oscilloscopes**
   Oscillographs make their record on paper or other similar material. Amongst these instruments we find UV, inkjet, light beam and pen recorders.
   In the **left** of the slide we see a pen type X-Y recorder.

   Oscilloscopes make their record electronically on a screen with the aid of a moving cathode ray. A cathode ray oscilloscope is shown in the **right** of the slide.

3. **The oscilloscope screen**
   It will be clear that we prefer to have our information presented on a flat screen. In the cathode-ray oscilloscope, this screen is formed by the flat face of a **cathode-ray tube** (CRT).
   This tube may be regarded as a long glass bottle with a flat bottom which is coated on the inside with a luminescent layer. When this layer is hit by the electrons of the electron beam the kinetic energy of the electrons is converted into light, thus giving a spot of light on the screen.

   The screen may be round, oval, square or rectangular in shape. The dimensions of a typical screen would be 8 by 10 cm. The neck of the tube contains the "electron gun", the deflection electrodes and the terminals to provide the electrical connections with the electronic circuits.
   A post-deflection accelerating electrode is often included near the front of the tube to increase the kinetic energy of the electrons, thus increasing the luminous output.

4. **The electron gun**
   In this electron gun electrons are released by thermal emission, i.e. by heating a cathode coated with barium sulphate. These electrons are attracted by an electrode g_2 and accelerated in the direction of the screen S.
   We thus get a beam of electrons which is focussed on the screen S under the influence of an electrode g_1, a second accelerating electrode g_4 and a focussing electrode g_3. The "Wehnelt cylinder" g_1 usually has a negative voltage with respect to the cathode.
   The combination of negative and positive voltages applied to electrodes g_3 and g_2/g_4 gives rise to a positive lens effect.

   The final result is that the electron beam, which is divergent as it passes g_2, leaves the electron gun as a slightly convergent beam. This is necessary to ensure that the light spot it produces on the screen is as small as possible.

5. **Post-deflection acceleration**
   In the previous slide we saw that a second acceleration electrode g_4 is included in the CRT after the first accelerating electrode g_2.
   Many types of cathode-ray tubes have a third acceleration stage to further increase the velocity of the electrons and hence the brightness of the light spot on the screen.
   This is achieved by applying a "post-deflection accelerating voltage" between the screen and the last electrode of the electron gun.

   There are various possible ways of doing this. The simplest is shown in the slide: here, the post-accelerating voltage is applied between two graphite layers on the inside of the tube.

6. **Magnetic deflection**
We know now that an accurately made CRT to which the proper combination of voltages is applied, will give a bright spot of light on the screen.
Now, if we want to use this tube for "plotting" the variation of a given quantity along a certain axis and as a function of the variable along another axis, we must be able to move this spot of light in both directions on the screen. In practice this means that the electron beam must be **deflected horizontally** and **vertically**.

In TV-picture tubes this deflection is realized with the aid of **magnetic fields**, produced by a number of deflection coils arranged round the neck of the tube.

7. **Electrostatic deflection**
In the cathode-ray tubes used in oscilloscopes, the deflection is usually made by means of an **electrostatic** field. For this purpose, a number of "deflection plates" are provided in the tube, immediately after the electron gun. First we get a pair of plates for the **vertical deflection** of the spot of light, and then a set for the **horizontal deflection**.

8. **Vertical deflection**
With no potential difference between the deflection plates, the electrons would be focussed on the point 0 on the screen. When a voltage is applied between the vertical deflection plates, as shown in the slide, the direction of the electron beam is altered, the beam being deflected towards the positive plate.
The spot of light on the screen will thus move in the direction of the arrow in the slide.

9. **Horizontal deflection**
Much the same effect is found when a voltage is applied between the two horizontal deflection plates. When the electric field is as shown in the slide, the electron beam will be deflected horizontally.
Electrostatic deflection has the advantage of being able to respond much faster to rapidly changing signals than magnetic deflection.

10. **Mono-accelerator**
The CRT shown here is called a "mono-accelerator" because no post-deflection acceleration is used. **All** acceleration therefore occurs inside the electron gun.
For practical reasons, the mean plate deflection voltage is chosen at 0 volt. The vertical and horizontal deflection voltages are applied in push-pull, which means that the mean plate voltage remains constant. The cathode voltage is negative.

11. **Circuit diagrams**
In this slide we see the CRT represented in another way, as used in circuit diagrams. From left to right in this figure we see an indirectly heated cathode K and the control grid g_1 (Wehnelt-cylinder), which is used to regulate the beam current and hence the brightness of the spot of light on the screen. Next the first accelerating electrode g_2, the focussing electrode g_3, the second accelerating electrode g_4 and finally the two sets of plates (Y1, Y2 and X1, X2) for the vertical and horizontal deflection.

12. **Vertical sensitivity**
Further consideration of the properties of a mono-accelerator leads to the conclusion that the deflection plates situated **nearest** to the electron gun are the **most effective**. The "sensitivity" of these **vertical** deflection plates is of the order of 10 volt per cm deflection on the screen.
For a cathode-ray tube with a screen height of 8 cm, this means that a total deflection voltage of 80 volt must be available to move the spot of light right from the bottom of the screen to the top.

13. **Horizontal sensitivity**
The **horizontal** deflection plates are **less sensitive** because they are **further** away from the electron gun; their sensitivity is about 20 volt/cm. If the screen is 10 cm wide, a voltage of 200 volt is needed to move the spot of light from far left on the screen to far right.
It will be clear that voltages of this magnitude are not very convenient for displaying variations of electrical quantities.

In other words, our oscilloscope must contain elements other than the CRT and its power supply.

14. **Amplification**
For suitable display of any input signal, we need **variable amplification**, both in horizontal and vertical direction. Since the amplifiers operate in push-pull, the mean plate potential will be constant. This ensures that the deflection electrodes will not start acting as accelerating electrodes with a variable accelerating voltage. Such a variable accelerating voltage would give rise to variations in the velocity of the electrons passing the plates, and hence to non-linear deflection.

15. **The vertical and horizontal amplifiers**
Now let us have a closer look at the **vertical amplifier**. We have already seen that this amplifier should be capable of delivering an output voltage of at least 80 volt. Moreover, this voltage must be reached within a certain time.
If we take a 10 MHz oscilloscope, for instance, a voltage jump of 80 volt between 10% and 90% amplitude has to be realized within 35 nanoseconds. Also, the deflection plates have a certain intrinsic capacitance of about 5 pF per pair.
To achieve all this a certain amount of energy is required. The **rise time** of the oscilloscope is thus mainly determined by the **capacitance** of the plates and the **power** available to supply this energy.

The demands to be made on the **horizontal amplifier** are more or less the same, on the understanding that the sensitivity of the horizontal plates is lower. So, the amplification of the horizontal amplifier will have to be higher.

16. **Amplifiers in general**
The horizontal and vertical amplifiers may be regarded as a voltage source G with an internal resistance R, which is loaded by the intrinsic capacitance C of the deflection plates.
The voltage across the deflection plates is thus frequency-dependent, as shown in the graph.

The cut-off frequency f (−3 dB) of an oscilloscope is the frequency at which the voltage across the plates has decreased by a factor of $\frac{1}{\sqrt{2}}$

17. **Sinusoidal input signals in phase**
We will now have a look at a number of basic applications of the oscilloscope. As we have mentioned above, this means that we are going to display one signal as a function of another.

In this slide, we assume two sinusoidal signals of the same period and amplitude, both starting at the same time **0**. It is easy to see that under the combined influence of these two signals, the spot of light will be in the middle of the screen at points of times **0**, **2** and **4**.
At time **1**, it will be deflected towards the upper right-hand corner of the screen, and at time **3** to the bottom left.

In other words, the combination of two sine waves in phase results in a **straight line** on the screen.

18. **Sinusoidal signals with a phase difference of 90°**
If the two identical sinusoidal signals did not start at the same time, in other words if there was a phase difference between the two input voltages, then the trace produced on the screen would no longer be a straight line.
For example, if the signals had a phase difference of 90°, the spot of light would describe a **circle** on the screen.

It will not be difficult to imagine how other phase differences will give **elliptical** traces on the screen.

19. **Input signals of different frequencies**
When the frequencies of the two input signals are not the same, we may get a trace of the form shown in this slide. Here the Y-signal is sinusoidal voltage of a certain frequency, while the X-signal has twice the frequency of the Y-signal.
Figures of this type can be used to determine the frequency of an unknown signal, by comparing it with a signal of known frequency.

The figures shown in the last three slides are known as "Lissajous" figures. They can be used to determine **phase** or **frequency** relations between two input signals.

20. **Other X-Y measurements**
The measurements of the type discussed so far are known as X-Y measurements. Some other examples are the determination of the current-voltage characteristics of tubes or semiconductors, the transmission characteristics of filters, or the magnetization curves of magnetic material.

In the example shown here, we determine the hysteresis loop of the core material of a transformer in a measuring circuit.
The input signal of this circuit is a measure of the field strength H and is applied to the X-input of the oscilloscope. The output signal – applied to the Y-input – is a measure of the resulting magnetic induction B.

21. **X-t measurement**
Of course the oscilloscope is not always used to display X-Y diagrams. In fact, its main application is to display signals as a function of **time**.

This is explained in the slide. We see a sinusoidal voltage applied to the Y-input and a voltage which increases linearly with time to the X-input.
The figure traced by the spot of light on the screen results from both signals, in just the same way as we obtained the Lissajous figures.
We see that the figure obtained has in fact the same form as the signal applied to the Y-input, because the **time-base signal** applied to the X-input is **linearly increasing**.
N.B. This is called **X-t** display, although in fact it is a **Y-t** function.

22. **Changing the time-base frequency**
If we now apply a sinusoidal signal to the Y-input again, and to the X-input a time base signal that ta takes twice as long to make its complete "sweep", we find that the sine wave is completed in the first half of the sweep. So during the whole sweep, two cycles of the sine wave applied to the Y-input will be recorded.

In order to make the trace of a Y-signal visible on the screen, it must be described not once, but a large number of times in succession.

23. **Synchronization**
In slides 21 and 22, the ratio of the period of the Y-signal and the "time-base" signal was always a whole number greater than or equal to 1.
That is not the case in the example considered here; the two signals are then said to be "unsynchronized", and we see that the time-base gets to the end of its sweep before the sine wave.
As a result, each sweep of the time-base starts with a different value of the Y-signal, and an unrecogniz- able picture results.

Oscilloscopes used to contain circuits which synchronized the time-base frequency with that of the Y-signal; this means that the rate at which the time-base traced the Y-signal on the screen always depended on the frequency of the Y-signal. It therefore could not be calibrated.

24. **Triggering**
If we demand that the display should be **recognizable**, and that it should be possible to **calibrate** the time-base, then we must see to it that the time-base generator **waits** until the input signal has reached a **set value** before it generates a new sweep.
Once the input signal reaches this set value, the time-base generator starts to generate a voltage which position.
The result is thus a "saw-tooth voltage" and the process is known as **triggering**.

The triggering process is illustrated in this slide, which depicts two different trigger levels set on the input signal.
The point marked **a** on the input signal corresponds to the saw-tooth shown in **red**; fig. **A** shows the trace seen on the screen in this case.
The **trigger level** can be adjusted with the aid of the "LEVEL" control on the oscilloscope, while a selector switch makes it possible to select a triggerpoint on either the negative or the positive slope of the input signal.
If the trigger level is set at the point **b** we get the **blue** saw-tooth, and the trace on the screen shown in fig. **B**.

25. **Block diagram of the oscilloscope; X-Y applications**
An oscilloscope must contain **all** the circuitry needed to realize the different functions we have discussed so far. We shall now build up the block diagram of the oscilloscope, bit by bit.
We start with the **cathode-ray tube** and associated **amplifiers**. As we have seen, an input signal can be applied to the input of each amplifier, thus making it possible to produce X-Y displays on the screen.

26. **Block diagram with time-base unit**
In most cases, however, we want to display an input signal as a function of time; in other words, we want to use the oscilloscope for X-t applications.
We then must apply to the X-deflection plates a voltage varying **linearly** with time. This is furnished by a **saw-tooth generator**.
It is important that the saw-tooth voltage always starts at the same point on the input signal. The **trigger circuit** (which forms part of the time-base unit) is provided for this purpose.
It also permits selection of both the **polarity** of the trigger point (+ or −) and its **level**.

27. **Block diagram with internal triggering**
The oscilloscope contains several facilities for regulating the **starting point** of the saw-tooth voltage. The most obvious way of ensuring the proper time relation between the input signal to be displayed (Y-signal) and the saw-tooth signal, is to make use of the Y-signal itself. For this purpose the oscilloscope has a connection ("INTERN") between the trigger circuit and the vertical channel. Triggering realized in this way is known as "internal triggering", and can be selected by means of the **trigger source selector** on the front panel.

However, the Y-signal may be too weak, or too distorted, to provide acceptable trigger signals. In this case signals from another source may be applied to the "EXTERN" trigger input of the oscilloscope; this is known as "external triggering".

28. **Pre-amplifier and attenuator**
If the vertical deflection plates have a sensitivity of 10 volt/cm and the output amplifier has a total voltage amplification factor of 100, the input sensitivity of this amplifier will be 100 mV/cm. This is not enough for many applications; it thus becomes necessary to add a **pre-amplifier** which increases the input sensitivity by another factor of say 100, to 1 mV/cm.
On the other hand, it must also be possible to display larger signals of e.g. 50 volt/cm or more on the screen; for this reason a calibrated **step-attenuator** is built into each oscilloscope.

If the internal trigger signal is taken from this attenuator, it will have an amplitude which is always of the same order of magnitude, regardless of the possible spread in the amplitude of the input signal. Moreover, a **coupling capacitor** is included in the input circuitry, to give the choice of displaying either a DC-voltage, an AC-voltage, or an AC-voltage super-imposed on a DC-voltage. This choice is governed by the "AC/DC" coupling control.

29. **Built-in delays**
Suppose we want to inspect a very fast voltage jump – for instance the leading edge of a pulse – with the aid of an oscilloscope. We all know that electronic circuits introduce a certain **delay** in the signals they process.
Let us assume that the delay caused by the pre-amplifier and the output amplifier is 10 ns each, while that for the complete time-base unit (trigger circuit plus saw-tooth generator) is 100 ns.
It follows that the Y-signal will reach the vertical deflection plates 20 ns after it is applied to the input.

The total delay time for the X-signal, on the other hand, is 120 ns. This means that the saw-tooth voltage will reach the horizontal deflection plates 100 ns after the input signal reaches the Y-plates, so that only a small part of the desired signal will be displayed on the screen.
We really wanted to see the leading edge of the pulse, but this part is not shown at all.

30. **Built-in delay line**
However, the part of the pulse which triggers the time base – i.e. the leading edge of the pulse – can also be displayed on the screen, if an **artificial delay** is built into the vertical signal channel at a point after the internal trigger signal has been taken off. This artificial delay is generally provided by a long cable, and (in our example) has a value of 150 ns.

If we now consider the total delay in the X- and Y-channels, we see that because of the built-in delay line the Y-signal arrives at the vertical plates 50 ns. after the saw-tooth voltage arrives at the horizontal plates. The **entire** input signal will thus be displayed.

31. **Imaginary example of an oscilloscope**
In this slide we show a (non-existing) oscilloscope which could be built up from the components we have introduced so far. We see a number of input terminals, control knobs and switches, each provided with a description of its function.
These labels are all familiar to us now, with the exception of the "X-pos." and "Y-pos." controls. They enable the trace on the screen to be shifted as a whole in the X- and Y-directions, by adding a variable DC-voltage on to the horizontal and vertical signals.

32. **Amplitude measurement**
This slide shows the principle of an amplitude measurement. The input attenuator is set to 0.2 V/cm, while the trace on the screen has an amplitude (peak-to-peak) of 5.8 V. The peak-to-peak value of the voltage in question is therefore $5.8 \times 0.2 = 1.16$ V.
Since this voltage is sinusoidal, we can also calculate its root-mean-square (rms) value by dividing the peak-to-peak value by $2\sqrt{2}$:

$$E_{rms} = \frac{E_{p\text{-}p}}{2\sqrt{2}} = 0.41 \text{ V}$$

33. **Frequency measurement**
This slide illustrates the measurement of the **period** of a sine wave. The sweep-rate control (time-base) is set to 0.5 ms/cm, while 10 complete periods are visible on the screen over a width of 10 cm. One period thus occupies a screen width of 1 cm, so that the period is 0.5 ms. The frequency of the signal is therefore:

$$f = \frac{1}{T}\ \text{Hz} = \frac{1}{0.5 \times 10^{-3}} = 2\ \text{kHz}$$

34. **Measurement of rise-time**
Finally, we look at the measurement of the **rise-time** of a pulse. The sensitivity control is adjusted so that the vertical extent of the trace exactly covers the 8 vertical divisions of the graticule. The rise-time of a pulse is defined as the time between the 10% and 90% amplitude points, these 10% and 90% levels are indicated on the graticule by broken lines.
The horizontal distance between the points of intersection of the trace with these broken lines is 2.8 cm. Since the sweep-rate control (time base) is set to 0.2 μs/cm, the rise-time of this pulse is 0.56 μs or 560 ns.

Also available:

Oscilloscopes

Series 2 - Dual Channel and Delayed Sweep **35 slides**

This slide-illustrated course should be considered as a sequel to "Oscilloscopes, series 1 - Basic Principles".

The aim of this second course is to show how oscilloscopes can display more than one vertical input signal. It also explains how a delayed time-base is derived and illustrates some of the practical advantages to be gained with it.

Oscilloscopes-principes de base

1. **Le principe de l'oscilloscope**
   Au sens général un oscilloscope est un instrument qui donne une représentation électronique **visuel** de deux grandeurs électriques liées.
   La diapositive montre deux signaux, l'un appliqué à l'entrée X d'un oscilloscope et l'autre à l'entrée Y. L'Oscilloscope visualise ces deux quantités le long de l'axe des X et des Y respectivement.

2. **Les différents types d'oscillographes et d'oscilloscopes**
   Les **oscillographes** font leur enregistrement sur papier ou sur du matériel similaire. L'encreur remplace le canon à électron et la plume le faisceau.
   Sur la **gauche** de la diapositive, nous voyons une enregistreur de plume type XY.

   Les **oscilloscopes** font leur enregistrement électroniquement sur un écran avec l'aide d'un rayon cathodique. Un oscilloscope à rayon cathodiques est représenté sur la **droite** de la diapositive.

3. **L'écran de l'oscilloscope**
   Il est clair que nous préférons avoir l'information présentée sur un écran plat. Dans l'oscilloscope à rayon cathodique cet écran est constitué par la face plate d'un **tube à rayon cathodique**.
   Ce tube peut être considéré comme une longue bouteille avec un fond plat qui est recouvert à l'intérieur d'une couche luminescente. Quand cette couche est touchée par les électrons émanant du rayon cathodique, l'énergie cinétique des électrons est transformée en lumière donnant ainsi un spot lumineux sur l'écran.

   L'écran peut être rond, ovale, carré ou rectangulaire. Les dimensions d'un écran type devraient être 8 x 10 cm. Le col du tube contient le "canon à électrons", les électrodes de déviation et les terminaux pour fournir les convertions électriques avec les circuits électroniques.
   Une électrode de post-accélération est souvent incluse près de l'avant du tube pour augmenter l'énergie cinétique des électrons augmentant ainsi l'effet lumineux.

4. **Le canon à électrons**
   Dans le canon à électrons, les électrons sont arrachés par effet thermique, c'est à dire en chauffant une cathode recouverte de sulfate de Baryum.
   Les électrons sont arrachés grâce à une électrode g_2 et accélérés dans la direction de l'écran S.
   Nous avons ainsi un faisceau d'électrons qui est focalisé sur l'écran S sous l'influence de l'électrode g_1, une seconde électrode d'accélération g_4 et une électrode de focalisation g_3. Le "cylindre de Wehnelt" g_1 a habituellement une tension une tension négative compatible avec celle de la cathode.
   La combinaison de tensions négatives et positives appliquées aux électrodes g_3 et g_2/g_4, donne naissance à un effet loupe.

   Le résultat final est que le faisceau d'électrons qui est divergent, quand il passe g_2, quitte le canon à electrons comme un faisceau légèrement convergent.
   Cela est nécessaire pour que le spot lumineux qu'il produit sur l'écran soit aussi petit que possible.

5. **Post-accélération**
   Sur la diapositive précédente nous vîmes qu'une seconde électrode d'accélération g_4 est incluse dans le tube à rayon cathodique après la première électrode d'accélération g_2.
   De nombreux types de tubes à rayons cathodiques ont un troisième étage d'accélération qui augmente la vitesse des électrons et ainsi augmente l'éclat lumineux du spot sur l'écran.
   Ceci est obtenu en appliquant une tension de post-accélération entre l'écran et la dernière électrode d'un canon à électrons.

   Il y a différents moyens de faire ceci, la façon la plus simple est représentée sur la diapositive: ici, la tension de post-accélération est appliquée entre deux couches de graphite à l'intérieur du tube.

6. **Déviation magnétique**
Nous savons maintenant qu'un tube à rayon cathodique, conçu correctement, auquel les différentes tensions appliquées ont la valeur idoine donne un spot brillant sur l'écran.
Maintenant, si nous désirons utiliser ce tube pour représenter la variation d'une grandeur donnée le long d'un certain axe et comme une fonction de la variable le long de l'autre axe, nous devons pouvoir déplacer ce spot selon deux directions sur l'écran. Dans la pratique, cela signifie que le faisceau d'électrons doit pouvoir être dévié **horizontalement** et **verticalement**.

Dans les tubes TV, cette déviation est réalisée à l'aide de champs **magnétiques** produits par des bobines disposées à l'avant du tube.

7. **Déviation électrostatique**
Dans les tubes à rayons cathodiques utilisés dans les oscilloscopes, la déviation est habituellement réalisée par l'intermédiaire d'un champ **électrostatique**. A ce propos, des "plaques de déviation" sont prévues dans le tube immédiatement après le canon à électrons.
Tout d'abord, nous avons une paire de plaques pour la **déviation verticale** du spot lumineux, puis une autre pour la **déviation horizontale**.

8. **La déviation verticale**
En l'absence de différence de potentiel entre les plaques de déviation, les électrons avaient focalisés sur le point 0 de l'écran. Quand une tension est appliquée entre les plaques de déviation verticale, comme le montre la diapositive, la direction du faisceau d'électrons est déviée en direction de la plaque positive.
Le spot lumineux de l'écran se déplacera ainsi dans la direction de la flèche sur la diapositive.

9. **La déviation horizontale**
Le même effet se produit quand une tension est appliquée entre les deux plaques de déviation horizontale. Quand le champ électrique est orienté comme il est montré sur la diapositive, le faisceau d'éctrons sera dévié horizontalement.
La déviation électrostatique a l'avantage de pourvoir répondre plus rapidement à des signaux variables que la déviation magnétique.

10. **Mono-accélérateur**
Le tube à rayon cathodique montré ici est appelé "mono-accélérateur", parce qu'il n'y a pas de post-accélération. En conséquence, **toute** l'accélération est produite à l'intérieur du canon à électrons.
Pour des raisons pratique, la tension médiane de la plaque est choisie égale à 0 volt. Les tensions de déviation verticale et horizontale sont appliquées en push-pull, ce qui signifie que la tension médiane de la plaque reste constante. La tension de la cathode est bien sûre négative.

11. **Synoptique du circuit**
Sur cette diapositive, nous voyons le tube à rayon cathodique représenté sous un autre angle, c'est-à-dire sous forme de synoptique. De la gauche à la droite de cette figure, nous voyons une cathode K chauffée indirectement et la grille de contrôle g_1 qui est utilisée pour réguler le faisceau et par lui-même la luminosité du spot l'écran.
A proximité de la première électrode d'accélération g_2, l'éctrode de focalisation g_3, la séconde électrode d'accélération g_4 et finalement les paires de plaques Y1, Y2 et X1, X2 pour la déviation verticale et horizontale.

12. **Sensibilité verticale**
Une analyse plus approfondie des propriétés d'un mono-accélérateur conduit à la conclusion que les plaques de déviation situées **les plus près** du canon à électrons sont les **plus efficientes**. La sensibilité de ces plaques de déviation **verticale** est de l'ordre de 10 volt par cm de déviation sur l'écran.
Pour un tube à rayon cathodique avec un écran haut de 8 cm, cela signifie que la tension totale de déviation de 80 volt sera nécessaire pour déplacer le spot du base au haut de l'écran.

13. **Sensibilité horizontale**
Les plaques de déviation **horizontale** sont **moins sensibles** parce qu'elles sont **plus éloignées** du canon à électrons. Cette sensibilité est de 20 volt/cm. Si l'écran est large de 10 cm, une tension de 200 volt est nécessaire pour déplacer le spot de l'extrême gauche de l'écran à l'extrême droite.
Il est clair que des tensions de cette grandeur ne conviennent pas pour visualiser des variations de grandeur électriques.

En d'autres termes, notre oscilloscope doit contenir des éléments autres que le tube à rayon cathodique et son alimentation.

14. **Amplification**
Pour une représentation convenable d'un signal d'entrée, nous avons besoin d'une **amplification variable**. A partir du moment où les amplificateurs opérent en push-pull, le potentiel médiane de la plaque est constant.
De cela, il résulte que les électrodes de déviation n'agiront pas comme électrodes d'accélération avec une tension d'accélération variable. Ainsi une tension d'accélération variable donnerait naissance à des variations dans la vitesse des électrons passant entre les plaques et entraînerait une déviation non linéaire.

15. **Les amplificateurs verticaux et horizontaux**
Analysons maintenant l'intérieur de **l'amplificateur vertical**. Nous avons vu que cet amplificateur serait capable de délivrer une tension de sortie de 80 V. De plus, cette tension doit être atteinte avant un certain temps.
Si nous prenons un oscilloscope 10 MHz, par exemple, un saut de tension de 80 volt entre 10% et 90% d'amplitude doit être réalisé en 35 nanosecondes (ns). Aussi les plaques de déviation ont-elles une capacité intrinsèque de 5 pF environ.
Pour permettre cela, un certain apport d'énergie est nécessaire. Le **temps de montée** d'un oscilloscope est ainsi principalement déterminé par la **capacité** des plaques et la **puissance** nécessaire pour fournir cette énergie.

Les demandes qui peuvent être faites à l'**amplificateur horizontal** sont plus importantes; selon que la sensibilité des plaques horizontales est plus faible. Ainsi l'amplification de l'amplificateur horizontal devra être plus haute.

16. **Les amplificateurs en général**
Les amplificateurs horizontaux et verticaux peuvent être considérés comme des sources de tension G avec une résistance interne R, qui est chargée par la capacité intrinsèque C des plaques de déviation. La tension au travers des plaques de déviation dépend ainsi de la fréquence, comme le montre le graphique.

La fréquence de cut-off (−3 dB) d'un oscilloscope est la fréquence à laquelle la tension entre les plaques a diminuée d'un facteur $\frac{1}{\sqrt{2}}$.

17. **Signaux d'entrée sinusoïdaux en phase**
Nous allons maintenant analyser un certain nombre d'applications de base de l'oscilloscope. Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, cela signifie que nous allons représenter un signal en fonction d'un autre.

Sur cette diapositive, nous voyons deux signaux sinusoïdaux de même période et de même amplitude, les deux partant de l'instant **0**. Il est facile de voir que sous l'action combinée de ces signaux, le spot sera au milieu de l'écran aux points **0**, **2** et **4**.
A l'instant **1**, il sera dévié vers le coin supéreiur droit de l'écran et à l'instant **3** en bas à gauche.

En d'autres termes, la combinaison de deux ondes sinusoïdales en phase se traduit par une **ligne droite** sur l'écran.

18. **Signaux sinusoïdaux avec une différence de phase de 90°**
Si deux signaux sinusoïdaux ne partent pas au même instant, en d'autres termes, s'il y avant une différence de phase entre les deux tensions d'entrée, la trace sur l'écran ne serait plus une ligne droite. Par exemple, si les signaux ont un déphasage de 90°, le spot décrira un cercle sur l'écran.

19. **Signaux d'entrée de différentes fréquences**
Quand les fréquences de deux signaux d'entrée ne sont pas les mêmes, nous pouvons avoir une trace de la forme indiquée sur la diapositive. Ici le signal Y est une tension sinusoïdale d'une certaine fréquence, alors que le signal X a deux fois la fréquence du signal Y.
Des figures de ce type peuvent être utilisées pour déterminer la fréquence d'un signal inconnu en le comparant à un signal de fréquence connue.

Les figures montrées sur les trois dernières diapositives sont connues sous le nom de "Lissajous". Elles peuvent être utilisées pour déterminer les relations de phase ou de fréquence entre deux signaux d'entrée.

20. **Autres mesures en X-Y**
Les mesures dont on vient de parler sont du type X-Y. D'autres exemples sont la détermination des caractéristiques courant-tension des tubes ou des semi-conducteurs, les caractéristiques de transmission des filtres, ou les courbes de magnétisation d'un matériel magnétique.

Dans l'exemple montré ici, nous déterminons la courbe d'hysteresis, du noyau d'un transformateur dans un circuit de mesure.
Le signal d'entrée de ce circuit est une mesure de l'intensité d'un champ H et est appliqué à l'entrée X de l'oscilloscope, le signal de sortie appliqué à l'entrée Y est une mesure de l'induction magnétique B résultant.

21. **Mesures en X-t**
Naturellement, l'oscilloscope n'est pas toujours utilisé pour représenter des diagrammes en X-Y. En fait sa principale application est de représenter des signaux en fonction du **temps**.

Ceci est expliqué sur la diapositive. Nous voyons une tension sinusoïdale appliquée à l'entrée Y et une tension qui augmente linéairement en fonction du temps à l'entrée X.
La figure tracée par le spot sur l'écran résulte de deux signaux, de la même façon que nous avons obtenu les courbes de Lissajous.
Nous voyons que la figure obtenue a en fait la même forme que le signal appliqué à l'entrée Y, étant entendu que le **signal de base de temps** appliqué à l'entrée X est **linéairement croissant**.

N.B. On parle de mesure en **X-t**, bien qu'il s'agit en fait d'une fonction **Y-t**.

22. **Changement de la fréquence de base de temps**
Si nous appliquons maintenant un signal sinusoïdal à l'entrée Y, et à l'entrée X un signal de base de temps qui met deux fois plus de temps pour faire son "balayage" complet, nous constatons que l'onde sinusoïdale est complète dans la première moitié du balayage.
Ainsi, pendant le balayage complet deux cycles de l'onde sinusoïdale appliquée à l'entrée Y seront enrégistrées.

Dans le but de rendre la trace d'un signal Y visible sur l'écran, il ne doit pas être representé une seule fois, mais un grand nombre de fois successivement.

23. **Synchronisation**
Sur les diapositives 21 et 22, le rapport de la période du signal Y et du signal de "base de temps" était toujours un nombre entier supérieur ou égal à 1.
Ce n'est pas le cas dans l'exemple considéré ici; les deux signaux sont alors dits "non-synchronisés" et nous voyons que la base de temps a fini son balayage avant l'onde sinusoïdale.
En conséquence, chaque balayage de la base de temps commence avec une valeur différente de celle du signal Y et une image non exploitable en résulte.

Ces oscilloscopes possèdent des circuits de synchronisation entre la fréquence de base de temps et celle du signal Y. Cela signifie que la vitesse à laquelle la base de temps trace le signal Y sur l'écran dépend de la fréquence du signal Y. Elle ne peut être en conséquence réglée.

24. **Le déclenchement**
Si nous demandons que la représentation soit **reconnaissable** et qu'il soit possible de **régler** la base de temps, il faut prendre soin que le générateur de base de temps **attend** jusqu'à ce que le signal d'entrée ait atteint une **certaine valeur** avant d'engendrer un nouveau balayage.
Quand le signal d'entrée atteint cette valeur donnée, le générateur de base de temps commence à engendrer une tension qui croit linéairement en fonction du temps. A la fin du balayage, le générateur retourne rapidement à sa position de départ.
Il en résulte une "tension en dent de scie" et le procédé est connu sous le nom de **déclenchement**.

Le procédé de déclenchement est illustré sur la diapositive qui décrit deux différents niveaux de déclenchement sur le signal d'entrée.
Le point marqé a sur le signal d'entrée correspond à la dent de scie figurée en **rouge**. La figure **A** montre la trace vue sur l'écran dans ce cas.
Le **niveau de déclenchement** peut être ajusté à l'aide du contrôle de niveau ("LEVEL") sur l'oscilloscope alors que la commutation de sélection fait son possible pour sélectionner un point de déclenchement sur l'une ou l'autre des pentes négatives ou positives du signal d'entrée.
Si le niveau de déclenchement est situé au point b nous obtenous la dent de scie **bleu** et la trace sur l'écran est montrée sur la figure **B**.

25. **Diagramme par bloc d'un oscilloscope – application en X-Y**
Un oscilloscope peut contenir **tous** les circuits nécessaires pour réaliser les différentes fonctions dont nous avons parlé plus haut. Nous allons maintenant mettre en évidence le diagramme par bloc d'un oscilloscope bit par bit.
Nous partons du **tube à rayon cathodique** et des **amplificateurs** associés. Comme nous l'avons vu, un signal d'entrée peut être appliqué à l'entrée de chaque amplificateur, permettant ainsi une représentation X-Y sur l'écran.

26. **Diagramme par bloc de l'unité de base de temps**
Dans la plupart des cas, cependant, nous désirons représenter un signal d'entrée comme une fonction du temps. En d'autres termes, nous voulons pouvoir utiliser l'oscilloscope pour des applications en X-t. Y-t.
Nous devons par suite appliquer aux plaques de déviation X une tension variant **linéairement** en fonction du temps. Celle-ci est fournie par un **générateur en dent de scie**.
Il est important que la tension en dent de scie parte toujours du même point sur le signal d'entrée. Le circuit de **déclenchement** (qui fait partie de l'unité de base de temps) existe dans ce but.
Il permet également une sélection de la **polarité** du point de déclenchement (+ ou –) et de son **niveau**.

27. **Synoptique du déclenchement interne**
L'oscilloscope contient plusieurs possibilités de réglage du **point de départ** de la tension de dent de scie.
La façon la plus simple de s'assurer la relation de temps correcte entre le signal d'entrée à représenter (signal Y) et le signal en dent de scie est d'utiliser le signal Y lui-même. C'est pourquoi l'oscilloscope possède une connection ("INTERN") entre le circuit de déclenchement et le canal vertical.
Un déclenchement réalisé de cette façon est connu sous le nom de "déclenchement interne" et peut être sélectionné par le moyen d'un **sélecteur de déclenchement** sur la face avant.

Cependant, le signal Y peut être trop faible ou trop distordu pour fournir des signaux de déclenchement acceptables. Dans ce cas, les signaux en provenance d'une autre source peuvent être appliqués à la sortie déclencheur "EXTERN" de l'oscilloscope.
A cette façon est connue sous le nom de "déclenchement externe".

28. **Préamplificateur et attenuateur**
Si les plaques de déviation ont une sensibilité de 10 V/cm et l'amplificateur de sortie a un facteur d'amplification en tension de 100, la sensibilité d'entrée de cet amplificateur sera de 100 mV/cm.
Ce n'est pas suffisant pour de nombreuses applications; il peut ainsi être nécessaire d'ajouter un **pré-amplificateur** qui augmente la sensibilité de sortie d'un facteur 100, soit 1 mV/cm.

D'autre part, il doit pouvoir être possible de représenter des signaux de 50 V/cm ou plus sur l'écran, c'est pour cette raison qu'il existe un atténuateur dans chaque oscilloscope.

Si le signal de déclenchement interne est pris de l'atténuateur, il aura une amplitude qui sera toujours du même ordre de grandeur comparée aux variations possibles du signal d'entrée.
De plus, une **capacité couplée** est incluse dans le circuit d'entrée pour donner le choix de représentation en courant continu, courant alternatif ou courant alternatif superposé à un courant continu. Ce choix est commandé par le contrôle couplé "AC/DC".

29. **Etablissement d'un temps de rétard**
Supposons que nous désirons analyser une pointe de tension, par exemple la partie ascendante d'une impulsion, avec l'aide d'un oscilloscope. Nous savons que les circuits électroniques introduisent un certain **retard** dans les signaux qu'ils reçoivent.
Supposons que le retard causé par le préamplificateur et l'amplificateur de sortie soit de 10 ns chacun, alors que pour l'unité de base de temps complète (circuit de déclenchement et générateur dent de scie) il soit de 100 ns.
Il s'ensuit que le signal de sortie en Y atteindra les plaques de déviation verticale 20 ns après qu'il eut été appliqué à l'entrée.

Le retard total pour le signal X d'autre part est de 120 ns. Cela signifie que la tension en dent de scie atteindra les plaques de déviation horizontale 100 ns après que le signal d'entrée n'ait atteint les plaques Y, de telle sorte qu'une faible partie du signal désiré sera représenté sur l'écran.
Nous désirons réellement voir la partie ascendante de l'impulsion, mais cette partie n'apparaît pas.

30. **Lignes à retard**
Or, la partie de l'impulsion qui déclenche la base de temps – c'est-à-dire la partie ascendente de l'impulsion – peut aussi être représentée sur l'écran, si un **retard artificiel** est créé sur le canal du signal vertical en un point tel que le signal de déclenchement interne ait été pris. Le retard artificiel est généralement crée par un long câble et (dans notre exemple) a une valeur de 150 ns.

Si nous considérons maintenant le retard total dans les canaux X et Y, nous voyons que – à cause de la ligne à retard – le signal Y arrive aux plaques verticales 50 ns après que la tension en dent de scie n'arrive aux plaques horizontales. Ce signal d'entrée **complet** sera ainsi représenté.

31. **Exemple d'oscilloscope imaginaire**
Sur cette diapositive, nous voyons un oscilloscope (qui n'existe pas) qui pourrait être construit à partir des composants que nous avons introduits plus haut. Nous voyons des terminaux d'entrée, des boutons de contrôle, des commutations, chacun de ces éléments étant fournis avec une description de sa fonction.
Ces éléments nous sont tous familiers, maintenant, à l'exception des organes de commande des plaques X et Y. Cela permet de faire varier la trace sur l'écran dans les directions X et Y, en ajoutant une tension continue variable sur les signaux horizontaux et verticaux.

32. **Mesure d'amplitude**
Cette diapositive montre le principe d'une mesure d'**amplitude**. L'atténuateur d'entrée est placé à 0,2 V/cm pendant que la trace sur l'écran a une amplitude (crête à crête) de 5,8 V. La valeur crête à crête de la tension en question est en conséquence de 5,8 x 0,2 = 1,16 V.
Si la tension est sinusoïdale, nous pouvons aussi calculer sa valeur efficace en divisant la valeur crête à crête par $2\sqrt{2}$.

$$E_e = \frac{E_{c\text{-}c}}{2\sqrt{2}} = 0{,}41\ V$$

33. **Mesure de fréquence**
Cette diapositive montre la mesure de la **période** d'une onde sinusoïdale. La commande de la vitesse de balayage est placée à 0,5 ms/cm et 10 périodes complètes sont visibles sur l'écran sur une largeur de 10 cm. Une période occupe ainsi un écran large de 1 cm, de suite que la période est de 0,5 ms.
La fréquence du signal est par suite:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}5 \times 10^{-3}} = 2\ kHz$$

34. **Mesure du temps de montée**
Finalement, nous voyons la mesure du **temps de montée** d'une impulsion. Le contrôle de sensibilité est ajusté de telle sorte que l'étendue verticale de la trace couvre exactement les 8 divisions du graticule.
Le temps de montée d'une impulsion est défini comme le temps mis par le spot entre les points 10% et 90% de l'amplitude maximale. Ces niveaux 10% et 90% sont indiqués sur le graticule par des lignes discontinues.
La distance horizontale entre les points d'intersections de la trace est de 2,8 cm. Si la commande de vitesse de balayage (base de temps) est placée à 0,2 μs/cm, le temps de montée de cette pulsation est de 0,56 μs ou 560 ns.

Aussi disponible:

Oscilloscopes

2ème partie - Les oscilloscopes à 2 traces et la double base de temps. 35 diapositives

Ce cours audio visuel fait suite à la première partie concernant "les principes de bases des oscilloscopes".

Ce deuxième exposé a pour but de vous expliquer comment les oscilloscopes peuvent visualiser plus d'un seul signal, et également le principe de la base de temps retardé, ainsi que les applications qui en découlent.

Oszillografen-Grundbegriffe

1. **Prinzip der Oszillografen**
   Grundsätzlich kann man sagen, dass der Oszillograf ein Gerät ist, das eine **sichtbare** Darstellung zweier elektrischer Grössen ermöglicht, die rechtwinklig zueinander stehen.
   Dieser Zusammenhang wird hier vereinfacht dargestellt. Es zeigt zwei elektrische Signale, das eine wird auf den Y-Eingang, das andere auf den X-Eingang des Oszillografen gegeben.
   Er "zeichnet" nun die beiden Grössen auf der X und Y-Achse auf.

2. **Verschiedene Oszillografentypen**
   Es gibt verschiedene Typen von Oszillografen. Viele dieser Geräte registrieren auf Papier. Dazu gehören Tintenschreiber, UV-Schreiber, Lichtstrahl-Oszillografen und auch wie **links** dargestellt, X-Y-Schreiber (meistens nach Kompensationsprinzip arbeitend).

   Das wichtigste und universellste Messgerät für elektrische Signale ist der **rechts** dargestellte **Elektronenstrahl-Oszillograf**. Diese Gerät zeichnet die Signale auf einem Bildschirm mit Hilfe eines Elektronenstrahls.
   Der Elektronenstrahl-Oszillograf ist frei von mechanischer Trägheit und erreicht daher eine viel höhere Schreibgeschwindigkeit als alle anderen Registriergeräte.

3. **Der Oszillografenbildschirm**
   In der Praxis ist der Oszillografenbildschirm flach. Er ist das Ende einer **Kathodenstrahlröhre**, die aus einem länglichen Glaszylinder besteht.
   Die Innenseite des Glasschirmes ist mit einer Leuchtschicht versehen. Trifft auf diese Schicht der Elektronenstrahl, so wird die kinetische Energie der Elektronen auf dem Schirm in Licht umgesetzt. Der Bildschirm leuchtet also an der Stelle auf, wo er von den Elektronen getroffen wird.
   Die Grösse des Oszillografen-Bildschirmes beträgt allgemein 8 x 10 cm. Vor dem Schirm (oder in ihm eingeäzt) befindet sich ein Messraster, das ein kalibriertes Ablesen ermöglicht.

   Am anderen Ende der Elektronenstrahlröhre befinden sich die Kathode, häufig als "Elektronen-Kanone" bezeichnet, und die Ablenkelektroden.
   In der Nähe des Bildschirmes befindet sich oft eine Nachbeschleunigungselektrode die die kinetische Energie der Elektronen erhöht. Auf diese Weise lässt sich die Bildhelligkeit erhöhen.

4. **Die "Elektronen-Kanone"**
   Die elektrisch geheizte Kathode – sie ist mit Barium-Sulphat belegt – emittiert Elektronen. Diese werden von g_2 angezogen und dadurch zum Schirm S hin beschleunigt.
   Man erhält also einen Strahl, der aus Elektronen besteht und mit Hilfe der Elektrode g_3 fokussiert wird, damit auf dem Leuchtschirm ein scharf gezeichneter Leuchtfleck entsteht. Die Elektrode g_1, auch "Wehnelt-Zylinder" genannt, erhällt eine negative Spannung im Verhältnis zur Kathode.
   Durch die Kombination der positiven und negativen Spannungen an den Elektroden g_2, g_3 und g_4 erhält man eine ähnliche Wirkung wie sie eine optische Linse hat.

   Der Elektronenstrahl wird zum Schirm hin so gebündelt, dass auf dem Leuchtschirm ein möglichst kleiner Leuchtpunkt erzeugt wird.

5. **Nachbeschleunigung**
Im vorherigen Bild war zu sehen, dass die Elektronen sowohl von der Elektrode g2 als auch von der Elektrode g4 beschleunigt werden.
In den meisten Kathodenstrahlröhren unterliegen die Elektronen des Strahles einer dritten Beschleunigung, um ihre Geschwindigkeit und damit die Lichtausbeute auf dem Bildschirm zu erhöhen.
Erreicht wird das mit einer Nachbeschleunigungsspannung zwischen Schirm und letzter Elektrode der Elektronen-Kanone.

Es gibt verschiedene Wege, die Nachbeschleunigung durchzuführen. Die einfachste Lösung wird hier gezeigt: die Nachbeschleunigungsspannung liegt zwischen zwei Graphitschichten an der Innenseite der Röhre.

6. **Magnetische Ablenkung**
Mit Hilfe der Kathodenstrahlröhre sollen zwei veränderliche Grössen in zwei Achsen dargestellt werden. Es muss also dafür gesorgt werden, dass sich der Leuchtpunkt auf dem Schirm in beide Richtungen bewegen kann. Der Elektronenstrahl ist daher **horizontal** und **vertikal abzulenken.**

In der Bildröhre von Fernsehgeräten erreicht man die Ablenkungen durch **elektromagnetische Felder.** Zu diesem Zweck sind mehrere Ablenkspulen am Hals der Bildröhre angebracht.

7. **Elektrostatische Ablenkung**
Bei den in Oszillografen verwendeten Kathodenstrahlröhren erfolgt die Auslenkung des Elektronenstrahles meistens durch **elektrostatische** Felder. Zu diesem Zweck sind einige "Ablenkplatten" hinter der "Elektronenoptik" in der Röhre vorgesehen. Die ersten zwei Ablenkplatten bewirken die **vertikale**-die nächsten beiden Platten die **horizontale Ablenkung.**

8. **Vertikale Ablenkung**
Ohne Potentialdifferenz zwischen den Ablenkplatten trifft der Elektronenstrahl die Bildschirmmitte im Punkt 0. Wird, wie in diesem Bild gezeigt, eine Spannung an die Platten gelegt, so ändert der Elektronenstrahl seine Richtung und wird zur positiveren Platte hin abgelenkt.
In diesem Fall würde sich der Leuchtfleck auf dem Schirm in Richtung des Pfeiles, also vertikal, bewegen.

9. **Horizontale Ablenkung**
Entsprechend der vertikalen Ablenkung wird beim Anlegen einer Spannung an die anderen zwei Ablenkplatten der Elektronenstrahl horizontal ausgelenkt.
Gegenüber der magnetischen Ablenkung lassen sich mit der elektrostatischen Ablenkung viel höhere Ablenkgeschwindigkeiten erreichen.

10. **Röhren ohne Nachbeschleunigung**
Diese Kathodenstrahlröhre ist z.B. nicht mit einer besonderen Nachbeschleunigungsspannung ausgerüstet. Die Beschleunigung der Elektronen erfolgt hier nur in der Elektronen-Kanone.
Aus praktischen Gründen wählt man als Ruhepotential für die horizontalen und vertikalen Ablenkplatten eine Spannung, die bei 0 volt liegt. Die Kathode muss daher, sollen die Elektronen beschleunigt werden, ein negatives Potential haben.

11. **Blockschaltbild**
Hier ist die Kathodenstrahlröhre als Symbol dargestellt. Von links nach rechts sieht man die indirekt beheizte Kathode K und das Steuergitter g_1 (Wehnelt-Zylinder). Dieses Gitter wird zur Helligkeitssteuerung des Elektronenstromes, d.h. zur Einstellung der Intensität des Leuchtfleckes auf dem Schirm, benutzt.
Nach g_1 folgt die erste Beschleunigungselektrode g_2, sodann die Fokussierungselektrode g_3, danach die zweite Beschleunigungselektrode g_4 und zum Schluss die Plattenpaare für vertikale und horizontale Ablenkung.

12. **Vertikale Ablenkempfindlichkeit**
Die Ablenkung des Elektronenstrahles ist um so **leichter**, je **näher** die Ablenkplatten dem Strahlsystem sind. Aus diesem Grunde wird dieses Plattenpaar für die Y-Ablenkung benutzt. Die "Empfindlichkeit" der **vertikalen** Ablenkplatten liegt in der Regel bei 10 volt für 1 cm Ablenkung auf dem Leuchtschirm. Bei einer Kathodenstrahlröhre mit 8 cm Bildhöhe sind also für die Ablenkung des Leuchtfleckes vom unteren bis zum oberen Bildschirmrand 80 volt Ablenkspannung nötig.

13. **Horizontale Ablenkempfindlichkeit**
Die **horizontale** Ablenkplatten haben eine **kleinere Empfindlichkeit**, da sie vom Strahlsystem **weiter entfernt** sind. Ihre Ablenkempfindlichkeit liegt bei 20 volt/cm.
Hat der Bildschirm eine Breite von 10 cm, so bedeutet das, dass 200 volt nötig sind, um den Leuchtpunkt vom linken zu rechten Bildrand auszulenken.
Spannungen dieser Grösse stehen jedoch nicht immer zur Verfügung, wenn der Zusammenhang zweier elektrischer Grössen dargestellt werden soll.

Die darzustellenden Signale müssen verstärkt werden; es sind somit zwei Messverstärker (X- und Y-Verstärker) erforderlich.

14. **Verstärkung**
Um ausreichend grosse Oszillogramme der darzustellenden Signales zu erhalten, ist eine **variabele Verstärkung** für die horizontale und vertikale Richtung nötig. Die horizontale und vertikale Ablenkspannung wird über Verstärker mit symmetrischen Ausgängen erzeugt.

15. **X- und Y-Verstärker des Oszillografens**
Hier ist noch einmal der **Vertikalverstärker** dargestellt. Dieser Verstärker muss in der Lage sein, einen schnellen Spannungsanstieg möglichst so zu verstärken, dass die Anstiegszeit des Messsignales nicht vergrössert wird. Der Verstärker muss also sehr schnell reagieren.
Bei einem 10 MHz Oszillografen vergehen 35 nano Sekunden bis bei einem Spannungssprung 10% und 90% des Endwertes dargestellt werden.

Mit zunehmender Bandbreite wird diese Zeit kürzer; bei einem 100 MHz Oszillograf beträgt sie nur noch 3,5 ns (zum Vergleich: In 1 ns legt das Licht rund 30 cm Weg zurück!).

16. **Der Frequenzgang des Verstärkers**
Den horizontalen und vertikalen Verstärker kann man sich als eine Spannungsquelle G mit dem Innenwiderstand R vorstellen. Als Last tritt die Kapazität C der Ablenkplatten auf.
Daher ist die Spannung über den Ablenkplatten, wie hier grafisch dargestellt, frequenzabhängig.

Die Bandbreite (Grenzfrequenz) des Oszillografen ist durch den 3-dB-Spannungsabfall definiert; bei dieser Frequenz ist die Spannung an den Ablenkplatten gegenüber dem Eingang um den Faktor $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}7$ abgesunken. Der Amplitudenfehler beträgt also rund -30%.

17. **X-Y-Darstellungen**
Zwei sinusförmige Eingangssignale, sie liegen zueinander in Phase, werden auf den X- und den Y-Eingang gegeben. Es entsteht ein Oszillogramm, das man auch als "Lissajous-Figur" bezeichnet.

In diesem Bild werden zwei sinusförmige Signale gleicher Frequenz und gleicher Amplitude an den Oszillografen angeschlossen. Beide Signale starten zum gleichen Zeitpunkt. Es ist leicht zu verstehen, dass sich unter dem Einfluss dieser beiden Signale der Leuchtfleck zu den Zeiten **0**, **2** und **4** in Bildschirmmitte befindet.
Zur Zeit **1** ist der Strahl ganz oben zum rechten Rand hin ausgelenkt, zur Zeit **3** ganz unten hin zum linken Bildschirmrand.

Mit anderen Worten: Zwei sinusförmige, phasengleiche Signale zeichnen eine **Gerade** auf dem Oszillografenschirm.

18. **X-Y-Darstellungen**
Starten zwei Sinussignale nicht zur gleichen Zeit (es besteht also eine Phasendifferenz zwischen den beiden Eingangsspannungen), so entsteht keine Gerade, wie im vorherigen Bild gezeigt, sonderd ein ellipsenförmiges Oszillogramm.
In diesem Beispiel bei einer Phasendifferenz von 90^{o} wird der Leuchtfleck auf dem Schirm zu einem **Kreis** ausgelenkt.

Phasendifferenzen zwischen 0^{o} und 90^{o} ergeben elliptische Figuren.

19. **X-Y-Darstellungen mit Eingangssignalen verschiedener Frequenz**
Sind die Frequenzen zweier Eingangssignale nicht gleich gross, so erhält man eine Abbildung, wie in diesem Bild dargestellt. Das Y-Signal ist eine sinusförmige Spannung mit der Frequenz f_1. Das X-Signal hat die doppelte Frequenz, also $f_2 = 2 \times f_1$.
Mit Darstellungen dieser Art lassen sich sehr genaue Frequenzbestimmungen durchführen. Eine unbekannte Frequenz wird dann mit einer bekannten Frequenz verglichen.

Mit Hilfe dieser Figuren können **Phasen-** und **Frequenzverhältnisse** zwischen zwei Eingangssignalen bestimmt werden.

20. **X-Y-Darstellungen**
Als X-Y-Darstellungen lassen sich Diagramme beliebiger Funktionen, wie Strom-Spannungs-Kennlinien von Röhren und Halbleitern. Durchlasskurven von Filtern oder Magnetisierungskurven, auf einfache Weise darstellen.

In diesem Beispiel wird die Hystereskurve vom Kernmaterial einer Transformators dargestellt. Das Eingangssignal des Messkreises, die Feldstärke H, wird auf den X-Eingang gegeben, das Ausgangssignal, die gemessene magnetische Induktion B, auf den Y-Eingang des Oszillografen.

21. **X-t-Messungen**
Die hauptsächlichste Anwendung findet der Oszillografen in der Darstellung von **Zeitfunktionen.**

Hierfür ein einfaches Beispiel: die sinusförmige Wechselspannung wird an den Y-Eingang gelegt, eine linear steigende Sägezahnspannung an den X-Eingang.
Das Oszillogramm, das jetzt auf dem Leuchtschirm gezeichnet wird, entsteht in ähnlicher Weise wie die beschriebenen Lissajous-Figuren.
Man sieht, dass der auf dem Leuchtschirm dargestellte Kurvenzug die gleiche Form hat wie das Messsignal am Y-Eingang.

N.B. Man spricht von **X-t** Darstellung, obwohl es sich um eine **Y-t** Funktion handelt.

22. **Änderung der Zeitbasisfrequenz**
Wird die Anstiegszeit des Sägezahns verlängert, beispielsweise auf 2 mal T, wobei T die Schwingungsdauer einer Periode des angelegten Sinus-Signals bedeutet, so werden insgesamt zwei vollständige Kurvenzüge des Sinussignals dargestellt.

23. **Synchronisation**
Die letzten zwei Dias zeigten, dass das Verhältnis der Periodendauer T vom Y-Signal und das "Zeitbasis"-Signal ein ganzes Vielfaches betrug.
Das ist in diesem Beispiel nicht der Fall. Man spricht dann auch von zwei "unsynchronisierten" Signalen. In dem dargestellten Beispiel ist das Zeitbasis-Signal in seiner Dauer zu kurz, um eine Periode vollständig abzubilden.
Dadurch startet jeder Durchlauf der Zeitbasis zu einem anderen Zeitpunkt des Y-Signales. Das Oszillogramm ist ständig in Bewegung – man erhält kein "stehendes Bild".

Bei älteren Oszillografen wurde die Zeitbasis-Frequenz mit dem Y-Signal synchronisiert. Dabei ergaben sich zwangsläufig folgende Nachteile:
1. Als stehende Bilder vom Y-Signal sind nur ganzzahlige vielfache der Zeitbasisdauer möglich.
2. Die Synchronisation arbeitet nur dann einwandfrei, wenn die Messspannung exakt periodisch ist.

24. **Triggerung**
Sollen die Nachteile des synchronisierten Betriebes vermieden werden, so muss der Zeitbasisgenerator immer mit dem Durchlauf so lange **warten**, bis das Signal einen bestimmten, **festen Spannungspegel** erreicht hat.
Ist dieser einstellbare Pegel des Eingangssignales erreicht, so erzeugt der Zeitbasisgenerator eine linear steigende, und auf dem Leuchtschirm wird die Zeitlinie (am linken Leuchtschirmrand beginnend) geschrieben. Die "Sägezahnspannung" geht nach Beendigung des Durchlaufes auf die Start-Position zurück.
Dieser Auslösevorgang wird als **Triggerung** bezeichnet.

Die Triggerung wird hier mit zwei verschiedenen Triggerpegeln dargestellt.
Im Punkt **a** des Eingangssignales startet die Sägezahnspannung **(rot)** der Zeitbasis. Entsprechend der Fig. **A** wird das Sinussignal auf dem Bildschirm abgebildet.
Ein anderes eingestellter **Triggerpegel**, z.B. im Punkt **b**, startet die Sägezahnspannung zu einem anderen Zeitpunkt (jetzt **blau** eingezeichnet). Das entsprechende Oszillogramm zeigt Bild **B**.

Um den Triggerpegel einstellen zu können, befindet sich am Oszillografen meistens ein "Triggerpegel" ("LEVEL")-Einstellknopf. Damit eine Wahl zwischen ansteigender und abfallender Flanke möglich ist, enthält der Oszillograf einen +/ – Umschalter.

25. **Blockschaltbild des Oszillografen für X-Y-Darstellungen**
Um die unterschiedlichen Messaufgaben erfüllen zu können, muss der Oszillograf aus verschiedenen Funktionseinheiten aufgebaut sein. Das Blockschaltbild soll nun Schritt für Schritt vervolständigt werden.
Die Hauptteile sind die **Kathodenstrahlröhre** mit den zwei zugehörigen **Verstärkern**. Wird jeder Verstärker mit einem Signal angesteuert, so erscheint auf dem Bildschirm eine X-Y-Darstellung.

26. **Blockschaltbild mit der Zeitbasiseinheit**
In den meisten Fällen soll der Oszillograf ein Signal als Funktion der Zeit darstellen.
Es ist eine Zeitachse erforderlich, die mit Hilfe einer **linear** ansteigenden Spannung an den horizontalen Ablenkplatten erzeugt wird. Diese Spannung wird in einem **Sägezahngenerator** erzeugt.
Dabei ist es besonders wichtig, dass der Sägezahngenerator immer am gleichen Punkt des Eingangssignales startet. Diese Aufgabe erfüllt der **Triggerkreis**, an dem nicht nur der **Triggerpegel**, sondern auch die **Triggerflanke** einstellbar sind.

27. **Blockschaltbild mit interner Triggerung**
Wer liefert nun das Triggersignal, das den Sägezahngenerator **starten** soll?
Meistens wird, um ein richtiges Zeitverhältnis zwischen dem dargestellten Eingangssignal und dem Sägezahnsignal zu erhalten, das Y-Signal selbst zur Triggerung herangezogen. Dazu wird zwischen dem Triggerkreis und dem vertikalen Kanal eine Verbindung hergestellt ("INTERN").
Diese Art der Triggerung nennt man "interne Triggerung".

Ist das Y-Signal zu klein oder zu verzerrt, um ein exaktes Triggersignal zu erzeugen, so muss ein separates Triggersignal von einer externen Signalquelle dem Triggerkreis ("EXTERN") zugeführt werden. Diese Betriebsart wird "externe Triggerung" genannt.

28. **Vorverstärker und Abschwächer**
Haben die vertikalen Ablenkplatten der Kathodenstrahlröhre eine Empfindlichkeit von 10 V/cm und der vorgeschaltete Verstärker verstärkt das Signal 100-fach, so beträgt die Eingangsempfindlichkeit dieses Verstärkers 100 mV/cm.
Für viele Anwendungen ist sie jedoch nicht ausreichend. Es ist noch eine **Vorverstärkung** erforderlich mit einem Verstärkungsfaktor von z.B. ebenfalls 100. Nun erhöht sich die Eingangsempfindlichkeit des Oszillografen auf 1 mV/cm.

Es gibt Fälle, wo Messsignale einige hundert Volt gross sind. Um auch sie darstellen und messen zu können, ist jeder Oszillograf mit einem kalibrierten **Stufenabschwächer** ausgestattet.
Der Messverstärker für die Y-Ablenkung ist in der Regel ein Gleichspannungsverstärker (*DC*). Um Wechselspannungen, die einer Gleichspannung überlagert sind, allein darstellen zu können, besteht die Möglichkeit, in den Eingang zum Y-Verstärker einen **Kondensator** zu schalten (Betriebsart AC).

29. **Eingebaute Verzögerung**
Der Y-Verstärker **verzögert** das durchlaufende Messsignal um etwa 20 ns (Vorverstärker 10 ns, Ausgangsverstärker ebenfalls 10 ns). Das Signal erscheint um diese Zeitspanne verzögert an dem vertikalen Ablenkplatten der Kathodenstrahlröhre.
Nehmen wir an, die Zeitbasiseinheit hat eine Verzögerung von 100 ns.

Wenn nun das Triggersignal hinter dem Vorverstärker vom Messsignal abgezweigt wird, beträgt die gesamte Verzögerung im Erzeugen der Zeitlinie 120 ns. Das bedeutet, dass die Sägezahnspannung 100 ns später die Ablenkplatten erreicht als das Y-Signal. Es wird also nur ein Teil des angelegten Messsignales auf dem Schirm dargestellt.
Der Teil des Signales, der beobachtet werden soll, z.B. die Anstiegsflanke des Impulses, ist nicht zu sehen.

30. **Eingebaute Verzögerungsleitung**
Jedoch der Teil des Impulses, von dem auch das Triggersignal abgenommen wird, also die Anstiegsflanke des Impulses, kann ebenfalls auf dem Bildschirm dargestellt werden. Dazu muss der Y-Kanal eine **Verzögerungsleitung** erhalten und zwar hinter dem Punkt, an dem das Triggersignal abgezweigt wird. Nun erhöht sich die Durchlaufzeit durch den Y-Verstärker um die Verzögerungszeit dieser Leitung (150 ns).

In dem vorliegenden Beispiel gelangt das Y-Signal erst 50 ns nach dem Beginn der Zeitlinie an die vertikalem Ablenkplatten. Auf diese Weise lässt sich das gesamte Eingangssignal darstellen.

31. **Beispiel eines Oszillografen**
Hier wird ein (industriell nicht hergestellter) Oszillograf gezeigt, der alle besprochenen Funktionseinheiten enthält.
Ergänzend dazu gekommen sind sie beiden Knöpfe "X-Pos." und "Y-Pos.". Mit diesen Einstellern kann die Lage des Leuchtfleckes auf dem Leuchtschirm in X- und Y-Richtung verschoben werden.

32. **Prinzip einer Amplitudenmessung**
Wie man sieht, steht der Eingangsabschwächer in der Position 0,2 V/cm, während das Signal auf dem Schirm 5,8 cm ausgelenkt ist. Das Signal hat daher eine Spannung von Spitze zu Spitze von 5,8 cm x 0,2 V/cm = 1,16 V. Da diese Signal sinusförmig ist, lässt sich der Effektivwert durch Teilung des Spitze-Spitze-Wert durch $2\sqrt{2}$ leicht bestimmen:

$$U_{eff} = \frac{U_{ss}}{2\sqrt{2}} = 0{,}41\ V$$

33. **Frequenzmessung**
Hier wird gezeigt, wie Periodenzeit und Frequenz eines Sinussignales zu ermitteln sind. Der Schalter für den Zeitmassstab steht auf 0,5 ms/cm. Über eine Schirmbreite von 10 cm werden 10 vollständige Perioden des Signales dargestellt. Die Periodendauer des Signales beträgt also 0,5 ms. Die Frequenz ist damit:

$$f = \frac{1}{0{,}5 \times 10^{-3}} = 2 \times 10^{3} = 2000\ \text{Hz} = 2\ \text{kHz}$$

34. **Messung einer Anstiegszeit**
Zu diesem Zweck wird der Ablenkkoeffizient so eingestellt, dass das Signal die gesamte Messrasterhöhe von 8 cm ausfüllt.
Die Anstiegszeit eines Impulses ist definiert als die Zeit, die zwischen dem 10%- und 90%-Punkt der Amplitude liegt.
Der 10%- und 90%-Wert ist auf dem Raster des Schirmes markiert.
Es ist zu sehen, dass der Strahl diese Linien in einem Abstand von 2,8 cm schneidet.
Der Zeitmassstab ist auf 0,2 µs/cm eingestellt. Die Anstiegszeit dieses Impulses beträgt also 2,8 x 0,2 µs = 0,56 µs oder 560 ns.

Auch erhältlich:

Oszillografen

Serie 2 - Zweikanaldarstellung und Verzögerte Zeitbasis **35 Dias**

Diese Dia-Serie ist die Fortsetzung der Serie 1 - Oszillografen Grundbegriffe.

Diese zweite Serie soll zeigen, wie ein Oszillograf mehr als ein vertikales Signal darstellen kann.
Sie beschreibt auch, wie eine verzögerte Zeitbasis arbeitet und welche Vorteile diese in der Praxis bietet.